

PCT/JP 2004/011481

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

26. 8. 2004

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office.

出 願 年 月 日
Date of Application: 2 0 0 3 年 8 月 1 3 日

REC'D 16 SEP 2004

WIPO

PCT

出 願 番 号
Application Number: 特 願 2 0 0 3 - 2 9 2 8 6 4
[ST. 10/C]: [J P 2 0 0 3 - 2 9 2 8 6 4]

出 願 人
Applicant(s): 株式会社精工技研

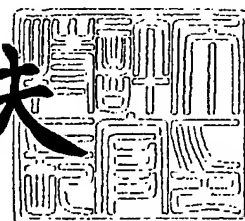
PRIORITY DOCUMENT
SUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH
RULE 17.1(a) OR (b)

BEST AVAILABLE COPY

2 0 0 4 年 6 月 9 日

特許庁長官
Commissioner,
Japan Patent Office

今 井 康 夫



出証番号 出証特 2 0 0 4 - 3 0 4 9 9 0 5

【書類名】 特許願
【整理番号】 SE-51
【提出日】 平成15年 8月13日
【あて先】 特許庁長官殿
【国際特許分類】 G02F 1/313
G02F 1/01

【発明者】
【住所又は居所】 中華人民共和国浙江省杭州市嘉緑苑（西）9棟2单元101室
【氏名】 江▲晁▼清

【発明者】
【住所又は居所】 千葉県松戸市松飛台286番地の23 株式会社精工技研内
【氏名】 呉玉英

【発明者】
【住所又は居所】 中華人民共和国浙江省杭州市求是新村34棟402室
【氏名】 王明華

【発明者】
【住所又は居所】 中華人民共和国浙江省杭州市濱江区長河鎮
【氏名】 来関明

【特許出願人】
【識別番号】 000147350
【氏名又は名称】 株式会社 精工技研

【代理人】
【識別番号】 100083806
【弁理士】
【氏名又は名称】 三好 秀和
【電話番号】 03-3504-3075

【選任した代理人】
【識別番号】 100068342
【弁理士】
【氏名又は名称】 三好 保男

【選任した代理人】
【識別番号】 100100712
【弁理士】
【氏名又は名称】 岩▲崎▼ 幸邦

【選任した代理人】
【識別番号】 100087365
【弁理士】
【氏名又は名称】 栗原 彰

【選任した代理人】
【識別番号】 100100929
【弁理士】
【氏名又は名称】 川又 澄雄

【選任した代理人】
【識別番号】 100095500
【弁理士】
【氏名又は名称】 伊藤 正和

【選任した代理人】
【識別番号】 100101247
【弁理士】
【氏名又は名称】 高橋 俊一

【選任した代理人】

【識別番号】 100098327

【弁理士】

【氏名又は名称】 高松 俊雄

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 001982

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 特許請求の範囲 1

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 0205647

【書類名】 特許請求の範囲**【請求項 1】**

負熱光学効果を有する光学材料を用いた熱光学型可変光減衰器であって、
入力光が伝搬する第 1 のシングルモード光伝搬部と、出力光が伝搬する第 2 のシングルモード光伝搬部と、前記第 1 及び第 2 のシングルモード光伝搬部の間に設けられたマルチモード光伝搬部と、前記第 1 のシングルモード光伝搬部と前記マルチモード光伝搬部の間に設けられた第 1 のテーパ部と、前記第 2 のシングルモード光伝搬部と前記マルチモード光伝搬部の間に設けられた第 2 のテーパ部と、を有する第 1 の光導波路と、

前記出力光の伝搬方向に対して角度 β 傾斜させて、前記マルチモード光伝搬部上に配置された薄膜ヒータと、

前記薄膜ヒータによって励起され、拡散放出された高次モード光を受光し、バイパスさせるために、前記マルチモード光伝搬部の片側に、前記出力光の伝搬方向に対して角度 2β 傾斜した方向に設けられたマルチモード光受光部と、前記マルチモード光受光部で受光されたマルチモード光を前記第 2 のシングルモード光伝搬部の中心軸と平行な方向にガイドし、放出させるための出力部と、を有する第 2 の光導波路と、

を備えたことを特徴とする熱光学型可変光減衰器。

【請求項 2】

前記第 1 の光導波路のマルチモード光伝搬部の片側と、当該マルチモード光伝搬部の片側に角度 2β 傾斜した方向に設けられた前記第 2 の光導波路とが交差する V 字型領域に、前記高次モード光を効率的に受光伝搬させるための三角形状の補助光導波路を設けたことを特徴とする請求項 1 に記載の熱光学型可変光減衰器。

【請求項 3】

前記マルチモード光受光部に起因する光伝搬損失を低減するため、前記マルチモード光受光部の他側が、三角形状に除去された形状を有することを特徴とする請求項 2 に記載の熱光学型可変光減衰器。

【請求項 4】

前記第 1 の光導波路のマルチモード光伝搬部の片側と、前記第 2 の光導波路のマルチモード光受光部とが、離隔して光結合するように所定間隔を有することを特徴とする請求項 1 乃至 3 のいずれかに記載の熱光学型可変光減衰器。

【請求項 5】

前記所定間隔が $3\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とする請求項 4 に記載の熱光学型可変光減衰器。

【請求項 6】

前記第 1 の光導波路の第 1 のテーパ部が放物線形状を有することを特徴とする請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の熱光学型可変光減衰器。

【請求項 7】

請求項 1 乃至 6 のいずれかに記載の熱光学型可変光減衰器を複数並列に配置して成ることを特徴とするアレイ型可変光減衰器。

【書類名】明細書

【発明の名称】熱光学型可変光減衰器及びこれを用いたアレイ型可変光減衰器

【技術分野】

【0001】

本発明は、大容量多チャンネルの光通信システム及び光計測システム等の分野において、光信号の強度をチャンネル毎に調整できる熱光学型可変光減衰器及びこれを用いたアレイ型可変光減衰器に関する。

【背景技術】

【0002】

近年、インターネットの急速な普及に伴い、光通信ネットワークの伝送容量を増大させるための試みの一つとして、波長の異なる複数の光信号を1本の光ファイバに多重して伝送する波長分割多重伝送(WDM: Wavelength Division Multiplexing)方式が実用化されるに至っている。WDMシステムにおいては、光増幅器(例えば、エルビウムドープファイバアンプ: EDFA)の使用が必要不可欠となるが、通常、光増幅器は利得波長依存性を持つため、受信機の飽和やS/N比の悪化等の問題を抱える。

【0003】

このような問題を解決する手段の一つとして、WDMシステムにおける合波器の入力側に可変光減衰器(VOA: Voltage Optical Attenuator)を設け、波長毎に信号レベルを調整する方法が行なわれている。

【0004】

そのためには、多数のVOAを並列に配置することによって、波長毎にVOAを用いるアレイ型VOAの使用が好ましい。一般に、VOAには、低挿入損失、偏波無依存性、波長無依存性、光減衰量可変範囲の広域性などの特性が望まれる。アレイ型VOAの場合には更に、隣接VOAアレイ間の低クロストーク、低コスト、コンパクト化、低消費電力などが要求される。

【0005】

このような要求を満たすVOAとして、電気光学効果、磁気光学効果、熱光学効果(温度により屈折率が増加する効果)を用いた非機械式VOAがある。特に、熱光学効果を用いたVOA(熱光学型VOA)の製造材料として、温度変化に対して屈折率の変化が大きい光学ポリマー材料が近年注目を集めている。

【0006】

光学ポリマー材料は、SiO₂(二酸化シリコン: 石英)材料と比較して、熱光学係数が一桁以上大きく、熱伝導率が低いことから、低消費電力が図れ、かつ低コストで製造できるという利点がある。特に、ポリイミド樹脂、エポキシ系樹脂、アクリル系樹脂、ゾルゲル法による有機無機ポリマー等の光学ポリマー材料は、温度が高くなると屈折率が低くなるという負熱光学効果を有する。

【0007】

熱光学型VOAの製造に関し、このような特性を有する光学ポリマー材料を用いると、スピンコート法により薄膜形成が容易となる上、製造プロセスを低温で行うことが可能となるため、製造基板を限定する必要がなく、大面積基板での製造が可能となり、熱光学型VOAを構成するクラッド層やコア層の積層化も容易である。また、スピンコート法に限らず、多種多様な製造方法が適用できるため、量産性に優れ、低コストも期待できる。

【0008】

図8は、従来の熱光学型VOAの構成を示したスケルトン平面図である(特許文献1、及び非特許文献1、2を参照。)

【0009】

図8の熱光学型可変光減衰器20においては、電源25から電流が流されると、ヒータ24が加熱され、ヒータ24の下方に位置するマルチモード光導波路23の被加熱部の温度が上昇する。すると、熱光学型可変光減衰器20を構成する光学ポリマー材料の負熱光

学特性により上記被加熱部の屈折率が小さくなる。これにより、シングルモード光導波路 2 1 を伝搬する入力光 ψ_{10} (光パワー P_{10}) がテーパ部 2 2 を伝搬した後、マルチモード光導波路 2 3 の上記被加熱部において高次モード光 ψ_1 、 ψ_2 が励起される。そして、この励起された高次モード光 ψ_1 、 ψ_2 は、マルチモード光導波路 2 3 の周辺に拡散し、光漏洩が起こり、その結果、シングルモード光導波路 2 7 の出力光パワー (P_{11}) が減衰する (すなわち、 $P_{11} < P_{10}$)。

【0010】

上記熱光学型可変光減衰器 2 0 を複数並列に配置してアレイ型可変光減衰器を構成した場合、各マルチモード導波路から漏洩された光が隣接導波路と結合することになって、光減衰量の可変範囲及び隣接導波路間のクロストークを悪化させるといった課題が生じる (例えば、隣接導波路の間隔が $250\ \mu\text{m}$ の場合、クロストークは約 $-34\ \text{dB}$ である。)

【特許文献 1】特開 2 0 0 2 - 1 6 2 6 5 4

【非特許文献 1】ELECTRONICS LETTERS, 23rd November 2000 Vol.36
No. 24, pp2032-2033.

【非特許文献 2】ELECTRONICS LETTERS, 26rd April 2001 Vol.37
No.9, pp587-588.

【発明の開示】

【発明が解決しようとする課題】

【0011】

本発明は、上記の課題に鑑みてなされたものであり、ヒータにより加熱されたアレイ型導波路の被加熱部で励起された高次モード光の拡散による漏洩に起因する隣接導波路間のクロストークを低減させると共に、光減衰量の可変範囲を大きくすることができるアレイ型可変光減衰器を容易に得ることのできる熱光学型可変光減衰器を提供することを目的とする。

【課題を解決するための手段】

【0012】

上記課題を解決するための手段として、請求項 1 に記載の発明は、負熱光学効果を有する光学材料を用いた熱光学型可変光減衰器であって、入力光が伝搬する第 1 のシングルモード光伝搬部と、出力光が伝搬する第 2 のシングルモード光伝搬部と、前記第 1 及び第 2 のシングルモード光伝搬部の間に設けられたマルチモード光伝搬部と、前記第 1 のシングルモード光伝搬部と前記マルチモード光伝搬部の間に設けられた第 1 のテーパ部と、前記第 2 のシングルモード光伝搬部と前記マルチモード光伝搬部の間に設けられた第 2 のテーパ部と、を有する第 1 の光導波路と、前記第 1 の光導波路の出力光の伝搬方向に対して角度 β 傾斜させて、前記マルチモード光伝搬部上に配置された薄膜ヒータと、前記薄膜ヒータによって励起され、拡散放出された高次モード光を受光し、バイパスさせるために、前記マルチモード光伝搬部の片側に、前記出力光の伝搬方向に対して角度 2β 傾斜した方向に設けられたマルチモード光受光部と、前記マルチモード光受光部で受光されたマルチモード光を前記第 2 のシングルモード光伝搬部の中心軸と平行な方向にガイドし、放出させるための出力部と、を有する第 2 の光導波路と、を備えたことを特徴とするものである。

【0013】

請求項 2 に記載の発明は、請求項 1 に記載の熱光学型可変光減衰器であって、前記第 1 の光導波路のマルチモード光伝搬部の片側と、当該マルチモード光伝搬部の片側に角度 2β 傾斜した方向に設けられた前記第 2 の光導波路とが交差する V 字型領域に、前記高次モード光を効率的に受光伝搬させるための三角形の補助光導波路を設けたことを特徴とするものである。

【0014】

請求項 3 に記載の発明は、請求項 1 又は 2 に記載の熱光学型可変光減衰器であって、前記マルチモード光受光部に起因する光伝搬損失を低減するため、前記マルチモード光受光

部の他側が、三角形状に除去された形状を有することを特徴とするものである。

【0015】

請求項4に記載の発明は、請求項1乃至3のいずれかに記載の熱光学型可変光減衰器であって、前記第1の光導波路のマルチモード光伝搬部の片側と、前記第2の光導波路のマルチモード光受光部とが、離隔して光結合するように所定間隔を有することを特徴とするものである。

【0016】

請求項5に記載の発明は、請求項4に記載の熱光学型可変光減衰器であって、前記所定間隔が $3\mu\text{m}$ 以下であることを特徴とするものである。

【0017】

請求項6に記載の発明は、請求項1乃至5のいずれかに記載の熱光学型可変光減衰器であって、前記第1の光導波路の第1のテーパ部が、放物線形状を有することを特徴とするものである。

【0018】

請求項7に記載の発明は、アレイ型可変光減衰器であって、請求項1乃至6のいずれかに記載の熱光学型可変光減衰器を複数並列に配置して成ることを特徴とするものである。

【発明の効果】

【0019】

請求項1に記載の発明によれば、入力光が伝搬する第1のシングルモード光伝搬部と、出力光が伝搬する第2のシングルモード光伝搬部の間にテーパ部を介して設けられたマルチモード光伝搬部を有する第1の光導波路と、前記第1の光導波路の光伝搬方向に対して角度 β 傾斜してマルチモード光伝搬部にヒータを配置した熱光学型可変光減衰器において、このヒータに電流を流した際に励起される高次モード光を放出し減衰させるに当たって、前記マルチモード光伝搬部の片側に、前記第1の光導波路の光伝搬方向に対して角度 2β 傾斜した方向に高次モード光を受光するためのマルチモード光受光部と、マルチモード光受光部で受光された高次モード光を前記第2のシングルモード光伝搬部の中心軸と平行な方向にガイドし、放出させるための出力部を有する第2の光導波路を設けて減衰させるため、励起された高次モード光がマルチモード光伝搬部の周辺へ拡散することを抑制することができる。従って、本発明の熱光学型光減衰器を高密度に並列に配置してアレイ型可変光減衰器を構成した場合、隣接する光減衰器からの漏洩光の結合に基づく光導波路アレイ間のクロストークを低減させることができると共に、光減衰量の可変範囲を大きくすることができる。

【0020】

請求項2に記載の発明によれば、請求項1に記載の熱光学型可変光減衰器において、第2の光導波路のマルチモード光受光部に、三角形状の補助光導波路を設けたことにより、ヒータによって励起された高次モード光を一層効率的に取り込むことができる。このため、請求項1に記載の効果を一層高めることができる。

【0021】

請求項3に記載の発明によれば、請求項1又は2に記載の熱光学型可変光減衰器において、マルチモード光受光部の他側を三角形状に除去された形状としたことにより、第1の光導波路のマルチモード光伝搬部の片側と第2の光導波路のマルチモード光受光部との結合長さが小さくなるため、ヒータに電流が流されていない場合、すなわち光減衰を必要としない場合に入力光の一部が第2の光導波路のマルチモード光受光部に漏洩し、入力光が減衰することを防止でき、可変範囲の広い光減衰器を得ることができる。

【0022】

請求項4に記載の発明によれば、請求項1乃至3のいずれかに記載の熱光学型可変光減衰器において、第1の光導波路のマルチモード光伝搬部と第2の光導波路のマルチモード光受光部とが、所定の間隔で離隔して光結合するように設けられているため、請求項3記載の効果を一層高めることができる。

【0023】

請求項 5 に記載の発明によれば、請求項 4 に記載の熱光学型可変光減衰器において、所定間隔を $3\ \mu\text{m}$ 以下としたことにより、請求項 4 に記載の効果を一層確実なものとすることができる。

【0024】

請求項 6 に記載の発明によれば、請求項 1 乃至 5 のいずれかに記載の熱光学型可変光減衰器において、前記第 1 の光導波路の第 1 のテーパ部を放物線形状としたことにより、第 1 のテーパ部の長さをより短くできるので、可変光減衰器をよりコンパクトにすることができる。

【0025】

請求項 7 に記載の発明によれば、前記第 1 の光導波路のマルチモード光伝搬部の片側に、ヒータの加熱によって励起された高次モード光を受光して、バイパスさせるための第 2 の光導波路が設けられた光減衰器を複数並列に配置したアレイ型可変光減衰器であるため、ヒータの加熱によって励起された高次モード光が隣接導波路へ拡散漏洩して、光減衰量の可変範囲や導波路アレイ間のクロストークの劣化を抑制することができる。このため優れた高密度のアレイ型光減衰器が得られる。

【発明を実施するための最良の形態】

【0026】

以下、本発明を実施するための最良の形態を図 1 から図 7 に基づき説明する。

【0027】

本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第 1 の実施形態を、図 1 及び図 5 (a) ~ (c) を用いて説明する。図 1 は、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第 1 の実施形態を示すスケルトン平面図である。図 5 (a) は、図 1 の A-A' 線における光導波路断面図であり、図 5 (b) は、図 1 の B-B' 線における光導波路断面図であり、図 5 (c) は、図 1 の C-C' 線における光導波路断面図である。

【0028】

図 5 (a) ~ (c) に示すように、本実施形態の熱光学型可変光減衰器 100 は、Si (シリコン)、ガラス (石英)、光学ポリマーなどの材料から成る基板 13 上に、光学ポリマーなどの材料から成る導波路 12 (上部クラッド層 12A、導波路コア層 1, 7, 3, 9A、下部クラッド層 12C)、及び金属材料 (たとえば、Ta-Au) から成る薄膜ヒータ層 4 を順次積層させたもので、導波路コア層 1, 7, 3, 9A は、クラッド層 12A, 12C の屈折率よりも大きい屈折率を有する光学ポリマー材料から成る。

【0029】

本実施形態の熱光学型可変光減衰器 100 の構成を、図 1 を用いて説明する。

【0030】

熱光学型可変光減衰器 100 は、第 1 の光導波路 50 と、第 1 の光導波路 50 を伝搬する光の強度を制御するための薄膜ヒータ 4 と、負熱光学効果によって第 1 の光導波路で発生した高次モード光をガイドするための第 2 の光導波路 9 から構成される。

【0031】

第 1 の光導波路 50 は、入力光 (光パワー P_{IN}) が伝搬する第 1 のシングルモード光伝搬部 1 と、第 1 のシングルモード光伝搬部 1 の上記入力光の伝搬方向に形成された第 1 のテーパ部 2 と、第 1 のテーパ部 2 を伝搬する光の伝搬方向に形成されたマルチモード光伝搬部 3 と、マルチモード光伝搬部 3 の上記光の伝搬方向に形成された第 2 のテーパ部 7 と、第 2 のテーパ部 7 の上記光の伝搬方向に形成された第 2 のシングルモード光伝搬部 8 とから構成される。

【0032】

ここで、第 1 のシングルモード光伝搬部 1 と、第 1 のテーパ部 2 と、マルチモード光伝搬部 3 と、第 2 のテーパ部 7 と、第 2 のシングルモード光伝搬部 8 とは同一の中心軸 CL_1 を有する。また、第 1 のシングルモード光伝搬部 1 と第 2 のシングルモード光伝搬部 8 とは同じ大きさの幅 W_1 を有する。更に、マルチモード光伝搬部 3 の幅 W_2 は第 1 及び第 2 のシングルモード光伝搬部 1, 8 の幅 W_1 よりも大きい ($W_1 < W_2$)。更に、第 1 の

テーパー部 2 の長さ L_1 と第 2 のテーパー部 7 の長さ L_3 は、マルチモード光伝搬部 3 の長さ L_2 よりも小さい ($L_1, L_3 < L_2$)。

【0033】

第 2 の光導波路 9 は、マルチモード光伝搬部 3 の片側側面 3 S₁ から所定の角度 2β ($0 < \beta < \pi/2$) を有する光導波路として設けられている。したがって、本実施形態の熱光学型可変光減衰器 100 は、全体として非対称 Y 字形状を成している。

【0034】

この第 2 の光導波路 9 は、マルチモード光伝搬部 3 と同じ幅 W_2 を有し、 P_1, P_2 を片側側面 3 S₁ との接合点とするマルチモード光の受光部 9 A と、第 2 のシングルモード光伝搬部 8 の幅 W_1 と同じ幅と同じ出力方向を有する出力端部 9 C (出力部) と、受光部 9 A と出力端部 9 C とを結ぶゆるやかな曲線形状のテーパー状光導波路 9 B とから成る。

【0035】

また、第 1 の光導波路 50 の第 2 のシングルモード光伝搬部 8 の中心軸 CL_1 と、第 2 の光導波路 9 の出力端部 9 C の中心軸 CL_2 との間隔 D は、隣接導波路アレイ間の間隔の $1/2$ に設定するのがよい。

【0036】

また、本実施形態においては、第 1 の光導波路の第 1 のテーパー部 2 の光導波路形状を放物線形状にした。このとき、第 1 のテーパー部 2 において、関係式： $w(z) = (2\alpha\lambda_g z + w_{min})^{1/2}$ が成り立つ。ここで、 z ($0 \leq z \leq L_1$) は、第 1 のテーパー部 2 の上記入力光の伝搬方向の入力側の端面に原点 O を設定したときの、第 1 のテーパー部 2 の中心軸 CL_1 に沿った第 1 のテーパー部 2 の長さを表す。したがって、 $W(z)$ は長さ z における第 1 のテーパー部 2 の幅を表し、 $W(0) = W_1 \equiv w_{min}$, $W(L_1) = W_2 \equiv w_{max}$ となる。また、 $\lambda_g \equiv \lambda_0 / n_c$ であり、 λ_0 は真空中の光の伝搬波長、 n_c は光導波路コア層 1, 7, 3, 9 A の屈折率を表す。また、 α は $0 < \alpha < 1$ を満たす定数である。上記関係式を満たすように第 1 のテーパー部 2 の光導波路形状を放物線形状にすると、テーパー部の長さをより短くすることができる。

【0037】

このような本実施形態の熱光学型可変光減衰器 100 の製造にあたっては、様々な製造方法を適用することが可能であるが、ここでは、半導体製造プロセスを一例として取り上げて簡潔に説明する。

【0038】

Si、ガラス、又は光学ポリマー材料から成る基板上に、光学ポリマー材料を用いて下部クラッド層 12 C、導波路コア層 1, 7, 3, 9 A、上部クラッド層 12 A の順でスピコート法により成膜する。

【0039】

上記導波路コア層 1, 7, 3, 9 A を形成するには、フォトリソグラフィ法と、ドライエッチング法 (反応性イオンエッチング法 (RIE)) が一般的な方法として用いられる。

【0040】

次いで、金属材料 (例えば、Ta-Au) を真空蒸着又はスパッタリング法により成膜し、その後フォトリソグラフィ法とウェットエッチング法により薄膜ヒータ層 4 に作製する。

【0041】

次に、上記のようにして構成された本実施形態の熱光学型可変光減衰器 100 の動作原理について説明する。

【0042】

薄膜ヒータ層 4 に電流が流されると、マルチモード光伝搬部 3 の負熱光学特性により、上部クラッド層 12 A を介して加熱されたマルチモード光伝搬部 3 の被加熱部の屈折率が周囲の光導波路コア層部分に比べて小さくなる。これによって、上記被加熱部において高次モード光が励起されることになる。この高次モード光のうち、一部の高次モード光は上

記被加熱部を透過し、第2のテーパ部7に入射される。そして、大部分の高次モード光は、上記被加熱部において反射角 β で全反射され、マルチモード光伝搬部3の片側側面3S₁から、第2の光導波路9の受光部9Aに導入され、第2の光導波路9の出力端9Cに向けてゆるやかな曲線形状に形成されたテーパ状導波路9Bを伝搬しながら、光を拡散放出し、出力端部9Cにおいては殆ど周囲への影響がない程度にまで減衰されて放出されるようになる。

【0043】

一方、第1の光導波路50の上記高次モード光は、第2のテーパ部7から拡散漏洩し、第2のシングルモード光伝搬部8からはシングルモード光のみが出力光（光パワーP_{OUT1}）として外部へ出力されることになる。その結果、上記出力光の光パワーP_{OUT1}は、第1のシングルモード光伝搬部1を伝搬する入力光パワーP_{IN}と比べて小さくなる。

【0044】

薄膜ヒータ層4に流れる電流が大きくなれば、第1の光導波路50のマルチモード光伝搬部3の被加熱部で全反射されるマルチモード光の量が多くなり、更に多くの入力光が減衰されることになるので、本発明は、薄膜ヒータ層4に流される電流の大きさを変化させることによって可変光減衰器として動作させることができる。

【0045】

このように、本実施形態の熱光学型可変光減衰器100においては、第1の光導波路50のマルチモード光伝搬部3の被加熱部において全反射して励起された高次モード光の殆どが、第2の光導波路9の受光部9Aにスムーズに取り込まれ、出力端部9Cに向けて伝搬しながら拡散漏洩される。

【0046】

したがって、本実施形態の熱光学型可変光減衰器100を複数並列に配置してアレイ型可変光減衰器を製造した場合の、高次モード光の拡散漏洩に起因する隣接導波路アレイ間のクロストークを従来技術よりも低減させることが可能となる。本実施形態においては、隣接導波路アレイの間隔が250 μ mの場合、光減衰量の可変範囲は25dB以上、クロストークは-40dB以下になる。)

【0047】

次に、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第2の実施形態について、図2を用いて説明する。図2は、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第2の実施形態を示すスケルトン平面図である。図2において、第1の実施形態と同じ部材には同一の符号を付して説明を省略し、相違点のみを説明するにとどめる。

【0048】

本実施形態の熱光学型可変光減衰器100Aは、第1の光導波路50のマルチモード光伝搬部3の片側側面3S₁からY字形に延出された第2の光導波路9とが交差するV字形領域にP₁、P₃、P₄を頂点とする三角形形状の光導波路を、薄膜ヒータ層4によって励起された高次モード光を取り込むための補助光導波路10として設けたものである。

【0049】

次に、以上のようにして構成された本実施形態の熱光学型可変光減衰器100Aの動作原理について説明する。

【0050】

第1の実施形態において説明したように、薄膜ヒータ層4に電流が流されると、これによって励起された高次モード光の大部分は第2の光導波路9の受光部9Aに導入されるが、一部の励起された高次モード光はG_oo_s-H_an_ch_en効果によって、マルチモード光伝搬部3と第2の光導波路9とが交差するV字形領域T₁からも拡散放出される。

【0051】

そこで、本実施形態においては、上記頂角2 β を成すV字形領域T₁に、三角形形状の補助導波路10を設け、これによってマルチモード光伝搬部3の片側側面3S₁から拡散放出される高次モード光をより一層スムーズに第2の光導波路9に取り込むことができるよ

うにした。

【0052】

したがって、本実施形態の熱光学型可変光減衰器 100A を多数並列に配置してアレイ型可変光減衰器を製造した場合、第1の光導波路50の第2のテーパ部2における高次モード光の拡散漏洩に起因する隣接導波路アレイ間のクロストークを、従来技術は言うに及ばず第1の実施形態よりも更に低減させることが可能となる。

【0053】

次に、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第3の実施形態について、図3を用いて説明する。図3は、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第3の実施形態を示すスケルトン平面図である。図3において、第2の実施形態と同じ部材には同一の符号を付して説明を省略し、相違点のみを説明する。

【0054】

本実施形態の熱光学型可変光減衰器 100B は、マルチモード光伝搬部3の片側側面3S₁ からY字形に分岐した第2の光導波路9の受光部9Aの下側部分にP₂、P₅、P₆を頂点とする三角形形状の導波路除去部T₂₁を設けたものである。

【0055】

次に、以上のようにして構成された本実施形態の熱光学型可変光減衰器 100B の動作原理について説明する。

【0056】

本実施形態においては、薄膜ヒータ層4に電流が流されない場合に顕著となるので、以下ではそのような状況についてのみ説明する。

【0057】

薄膜ヒータ層4によって励起された高次モード光を誘導して拡散放出させるための第2の光導波路9はヒータに電流が流されていない場合でも、マルチモード光伝搬部3を伝搬する入射光の一部を漏洩させ伝送損失を増大させる問題がある。

【0058】

そこで、本実施形態は、高次モードの受光に対する影響が比較的少ないこのマルチモード光伝搬部3に接合する第2の光導波路9の下側部分に三角形形状の導波路除去部T₂₁を設けたもので、これによって挿入損失の要因となる接合部分の長さが短くなるので、挿入損失を低減させることができる。

【0059】

次に、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第4の実施形態について、図4、6、及び7を用いて説明する。図4は、本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第4の実施形態を示すスケルトン平面図である。図6は、図4のE-E'線での光導波路断面図である。図7は、本発明の第4の実施形態における光減衰量可変範囲の数値シミュレーションの結果を示すグラフである。図4において、第3の実施形態と同じ部材には同一の符号を付して説明を省略し、相違点のみを説明する。

【0060】

本実施形態は、第3の実施形態において、第2の光導波路9の受光部9Aと第1の光導波路50のマルチモード光伝搬部3の片側側面3S₁とを所定の間隔W₃で離間して光結合させたものである。

【0061】

次に、以上のようにして構成された本実施形態の熱光学型可変光減衰器 100C の動作原理について説明する。

【0062】

図7は、本実施形態の熱光学型可変光減衰器における光減衰量の可変範囲のシミュレーション結果を示したものである。図7において、横軸は室温からの温度増加量ΔT (°C)、縦軸は可変光減衰量 (dB) を表す。

【0063】

このシミュレーションにおける各種パラメータを以下のように設定した。

【0064】

第1及び第2の光導波路コア層1, 7, 3, 9Aの屈折率 $=1.533$ 、クラッド層12A, 12Cの屈折率 $=1.526$ 、下部クラッド層12Cの厚さ $d_1=10\mu\text{m}$ 、第1及び第2の光導波路コア層の厚さ $h=7\mu\text{m}$ 、上部クラッド層12Aの厚さ $d_2=10\mu\text{m}$ 、第1及び第2のシングルモード光伝搬部1, 8及び第2の光導波路9の出力端部9Cの幅 $W_1=7\mu\text{m}$ 、マルチモード光伝搬部3の幅 $W_2=30\mu\text{m}$ 、第1のテーパ部2の長さ $L_1=1100\mu\text{m}$ 、マルチモード光伝搬部3の長さ $L_2=3000\mu\text{m}$ 、第2のテーパ部7の長さ $L_3=900\mu\text{m}$ 、除去部 T_{21} の光結合部の除去長さ $L_4=100\mu\text{m}$ 、補助光導波路10の受光部の結合長さ $L_5=500\mu\text{m}$ 、第1の光導波路の第2のシングルモード光伝搬部8の中心軸 CL_1 と第2の光導波路9の出力端部9Cの中心軸 CL_2 との間隔 $D=(\text{導波路アレイ間隔})/2$ 。なお、マルチモード光伝搬部3の幅 W_2 は $25\sim 50\mu\text{m}$ 、薄膜ヒータ層4の傾斜角 β は $1.0^\circ\sim 1.5^\circ$ 、第2の光導波路9の中間部9Bの曲率半径 R_1, R_2 は 10mm 以上であればよい。また、薄膜ヒータ層4の材料としてTa-Auを選定し、薄膜ヒータ層4の厚さ $d_3=0.2\mu\text{m}$ 、薄膜ヒータ層4の幅 $W_4=7\mu\text{m}$ 、薄膜ヒータ層4の傾斜角 $\beta=1.4^\circ$ 、薄膜ヒータ層4の長さ $=3.5\text{m}$ と設定した。また、第1の光導波路50の第1のテーパ部2の形状は放物線形状とした。

【0065】

上記の様に設定された各種パラメータを用いて、 $\Delta T(^{\circ}\text{C})$ と第1の光導波路50における可変光減衰量(dB)との関係をシミュレーションした結果を図7に示す。ここに示された各曲線は、第2の光導波路9がない場合、第1の光導波路50の片側側面3S₁と第2の光導波路9の受光部9Aとの間隔 $W_3=0\mu\text{m}, 1\mu\text{m}, 2\mu\text{m}$ の場合を表している。

【0066】

このことから、第2の光導波路9を有しない場合の可変光減衰量は約14dB、上記間隔 W_3 が $2\mu\text{m}$ の場合は約18dB、上記間隔 W_3 が $1\mu\text{m}$ の場合は約22dB、上記間隔 W_3 が $0\mu\text{m}$ の場合は約28dBとなり、後者の3つの場合のすべてが第2の光導波路9を有しない場合よりも光減衰量の可変範囲が広がることがわかる。また、後者の3つの場合を比較してみると、上記間隔 W_3 が $0\mu\text{m}$ の場合が最も光減衰量の可変範囲が広いことがわかる。しかし、 $\Delta T=0^{\circ}\text{C}$ の場合の入力光の伝送損失を比較してみると、上記間隔 W_3 が $0\mu\text{m}$ の場合は約0.5dB、上記間隔 W_3 が $2\mu\text{m}$ の場合は約0.3dB以下と伝送損失が小さくなる。

【0067】

したがって、第1の光導波路50の一方の側面3S₁と第2の光導波路9の受光部9Aとの間隔 W_3 は、使用目的に応じて光減衰量可変範囲と光クロストークとをトレードオフさせて選択すればよい。

【0068】

以上において、本発明の実施形態の詳細を説明したが、本発明の熱光学型可変光減衰器及びこれを用いたアレイ型可変光減衰器は、上記実施形態に限定されるものではない。

【図面の簡単な説明】

【0069】

【図1】本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第1の実施形態を示すスケルトン平面図である。

【図2】本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第2の実施形態を示すスケルトン平面図である。

【図3】本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第3の実施形態を示すスケルトン平面図である。

【図4】本発明に係る熱光学型可変光減衰器の第4の実施形態を示すスケルトン平面図である。

【図5】図5(a)は、図1のA-A'線における光導波路断面図であり、図5(b)

) は、図 1 の B-B' 線における光導波路断面図であり、図 5 (c) は、図 1 の C-C' 線における光導波路断面図である。

【図 6】 図 4 の E-E' 線における光導波路断面図である。

【図 7】 本発明の第 4 の実施形態における減衰量可変範囲のシミュレーションの結果を示すグラフである。

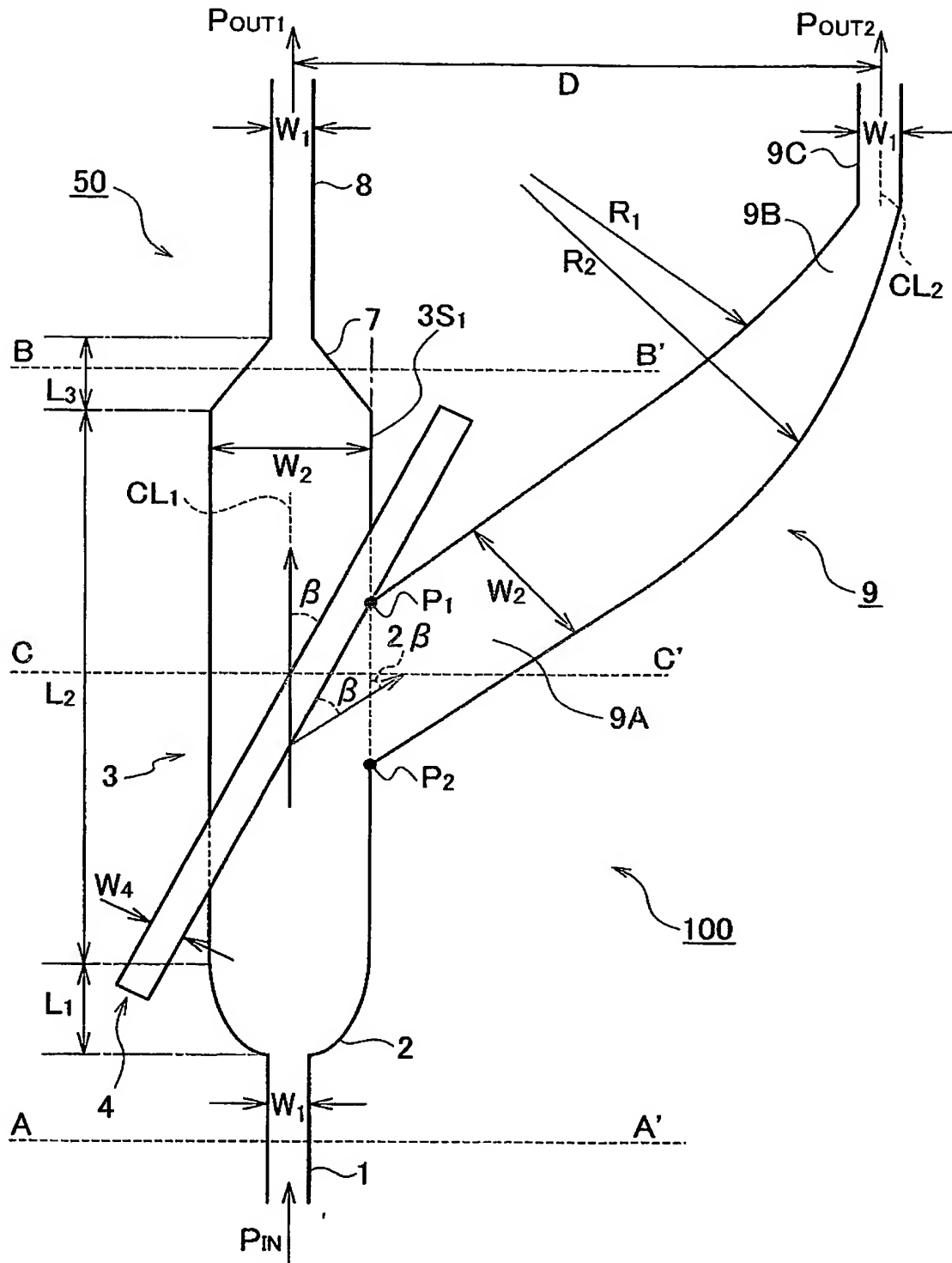
【図 8】 従来の熱光学型可変光減衰器を示すスケルトン平面図である。

【符号の説明】

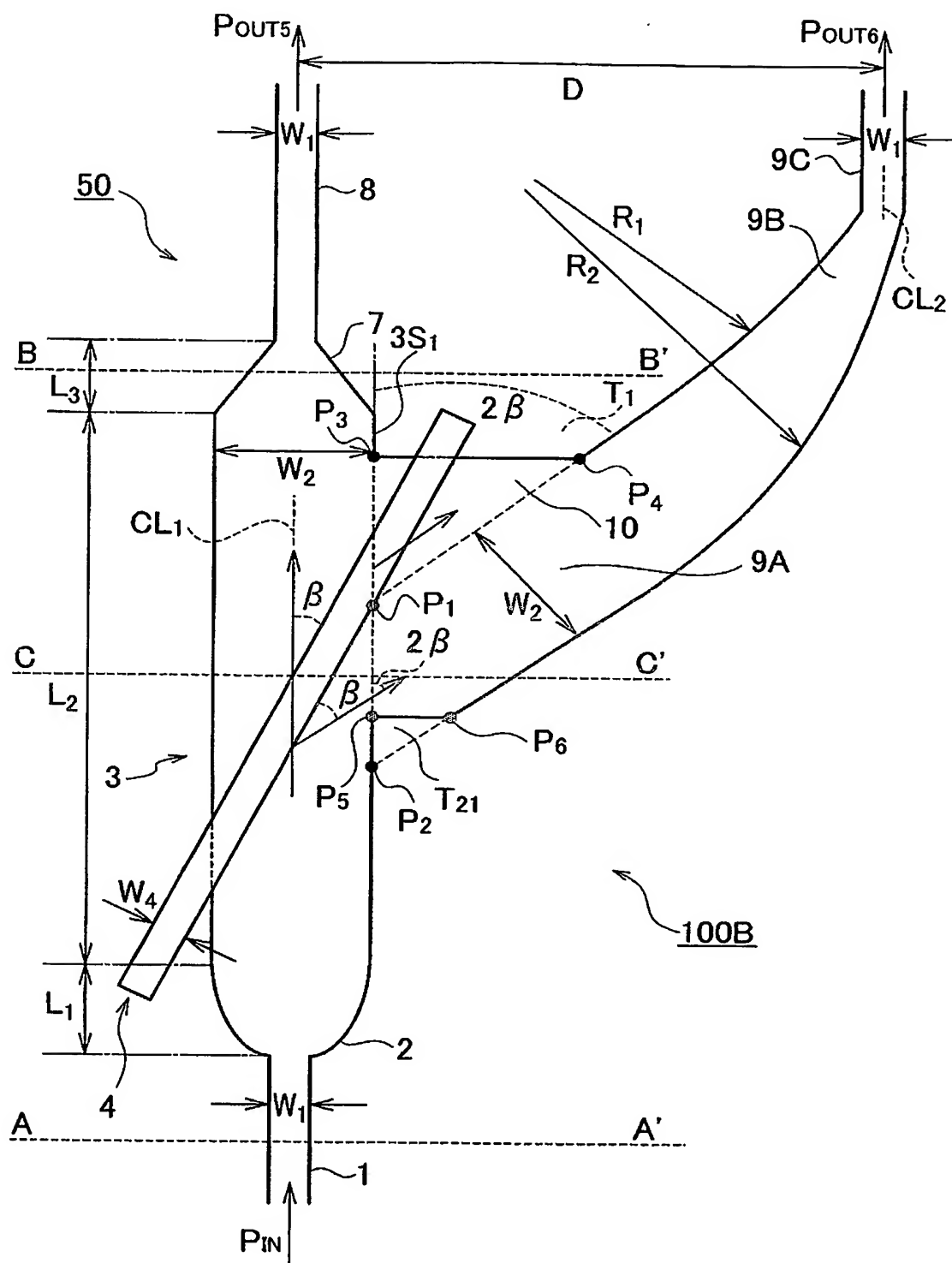
【0070】

- 1 第 1 のシングルモード光伝搬部
- 2 第 1 のテーパ部
- 3 マルチモード光伝搬部
- 4 薄膜ヒータ層
- 7 第 2 のテーパ部
- 8 第 2 のシングルモード光伝搬部
- 9 第 2 の光導波路
- 10 補助光導波路
- 12A, 12C クラッド層
- 13 基板
- 50 第 1 の光導波路
- β 薄膜ヒータ層の傾斜角度

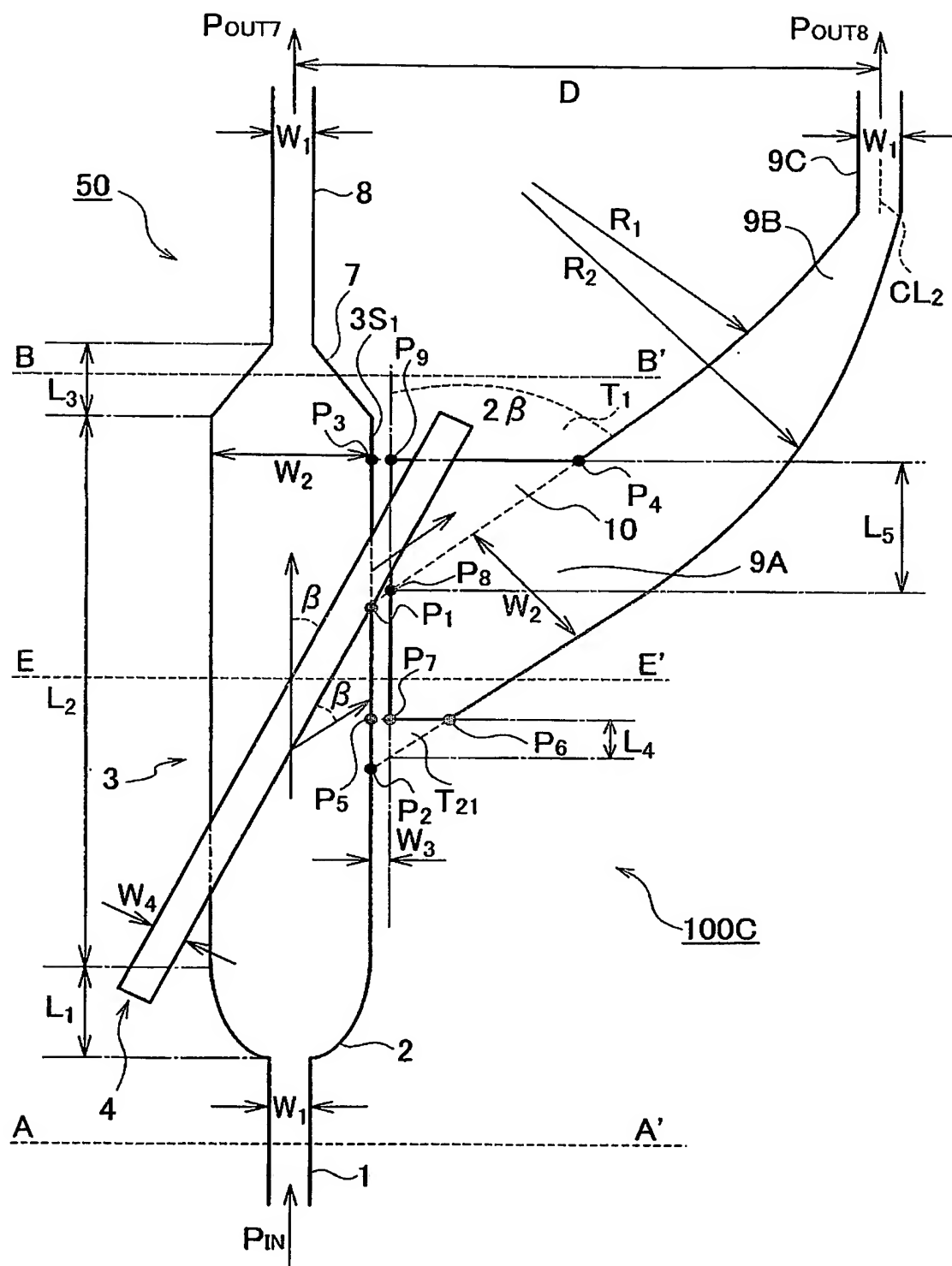
【書類名】 図面
【図 1】



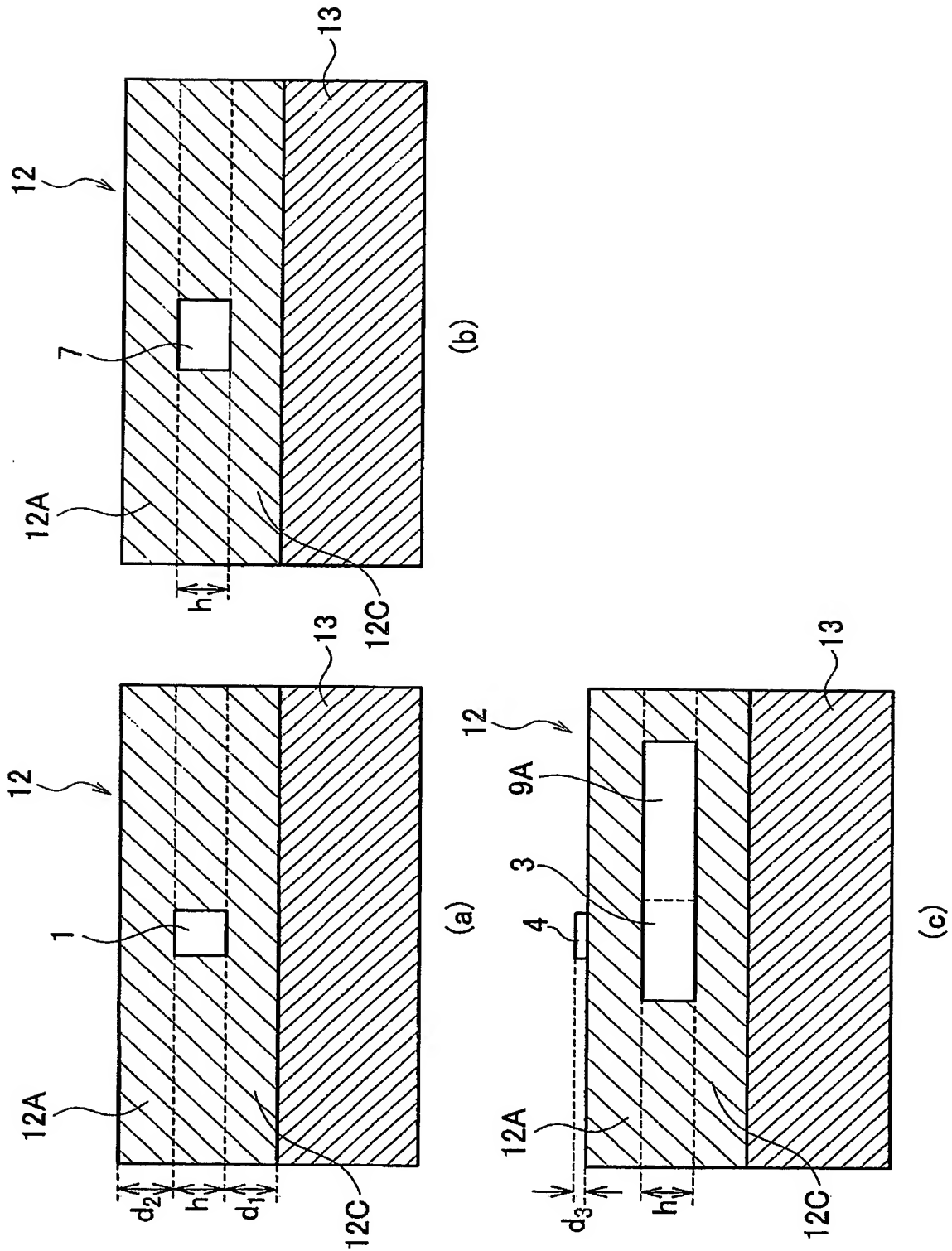
【図 3】



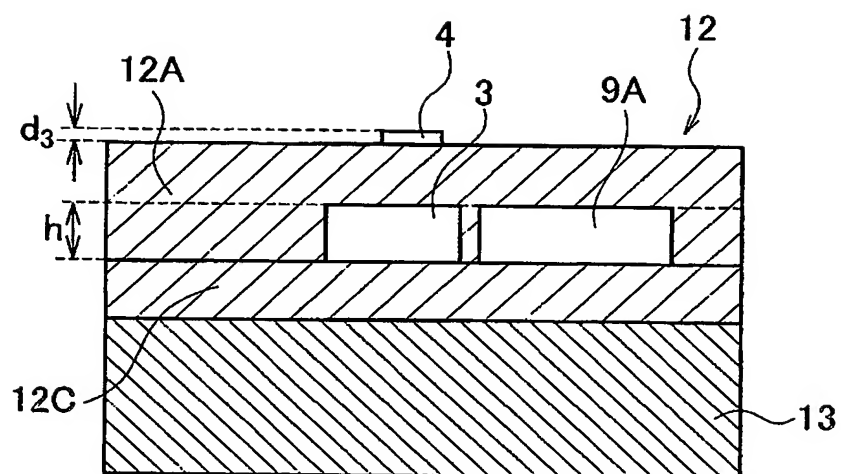
【図 4】



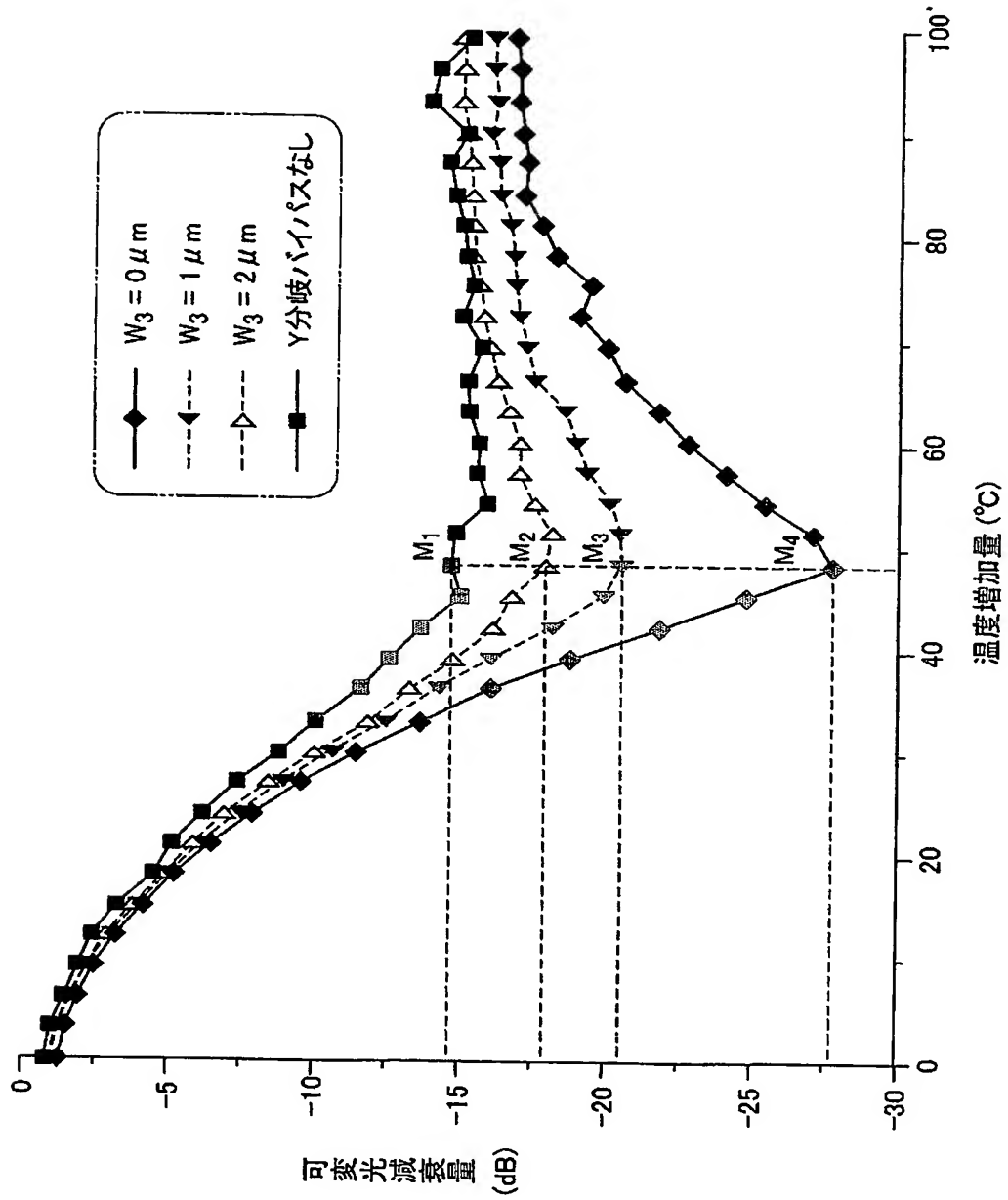
【図 5】



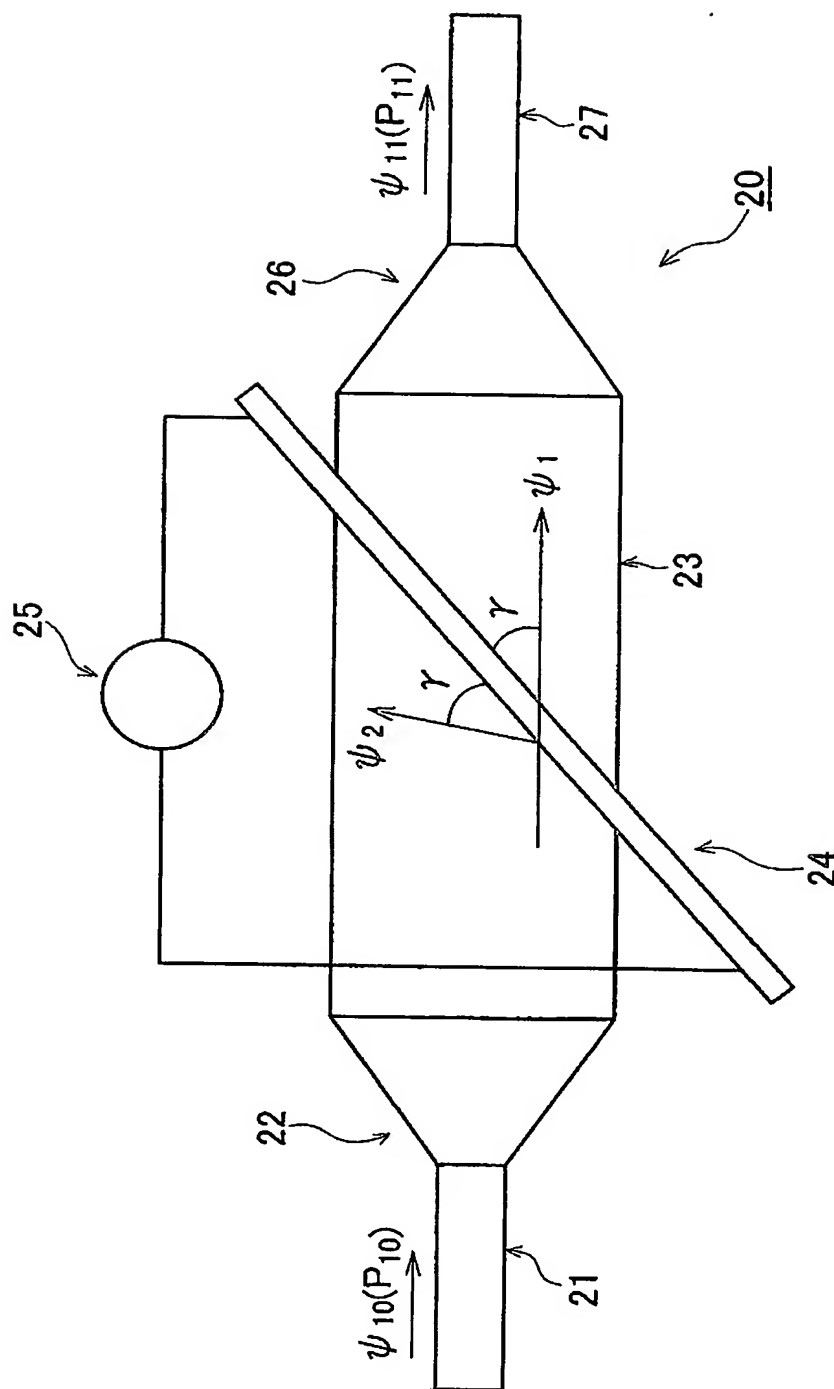
【図 6】



【図 7】



【図 8】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】 隣接導波路アレイ間の低クロストークを実現する、アレイ型可変光減衰器に適用可能な熱光学型可変光減衰器を提供する。

【解決手段】 負熱光学効果を有する光学材料を用いた熱光学型可変光減衰器 1 0 0 は、シングルモード光導波路 1, 8 の間に、テーパ部 2, 7 を介してマルチモード光伝搬部 3 を設け、上記マルチモード光伝搬部 3 の上部に加熱薄膜ヒータ 4 を第 1 の光導波路 5 0 の光伝搬方向に対して角度 β 傾斜させて設け、更に、上記マルチモード光伝搬部 3 の側面 3 S₁ に光学的に結合し、上記第 1 の光導波路 5 0 の光伝搬方向に対して角度 2β 傾斜させて第 2 の光導波路 9 を設けて成る。

【選択図】 図 1

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 1 4 7 3 5 0]

1. 変更年月日 1 9 9 0 年 8 月 9 日
[変更理由] 新規登録
住 所 千葉県松戸市松飛台 2 8 6 番地の 2 3
氏 名 株式会社精工技研
2. 変更年月日 2 0 0 4 年 3 月 1 5 日
[変更理由] 住所変更
住 所 千葉県松戸市松飛台 2 9 6 番地の 1
氏 名 株式会社精工技研